

Автор ер.
С 44

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ им. М.В.ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи

СЛИВКО Виктор Иванович

ИССЛЕДОВАНИЕ СОЛОДОВЕННОГО И ПИВОВАРЕННОГО
ПРОИЗВОДСТВ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ АСУ ТП

Специальность 05.13.07 - автоматическое управле-
ние и регулирование, управление технологическими
процессами (промышленность)

Принят в печать 19 89

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Одесса-1982

СК

Работа выполнена в Одесском технологическом институте
пищевой промышленности им. М.В. Ломоносова Министерства высшего
и среднего специального образования УССР

Научный руководитель – доктор технических наук,
профессор ПЛАТОНОВ П.Н.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор ТИХОНОВ В.Я.;
кандидат технических наук,
доцент ЛАДАНЮК А.П.

Ведущая организация: Одесское производственное объединение
пиво-безалкогольной промышленности.

Защита состоится "18" марта 1982 г. в 10³⁰ час.
на заседании специализированного совета Д 068.35.01 при
Одесском технологическом институте пищевой промышленности
им. М.В. Ломоносова, 270039, Одесса-39, ул.Свердлова, 112.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Одесского
технологического института пищевой промышленности им. М.В. Ломо-
носова.

Авторизован Броврач 1982 г.

ОНАХТ 14.06.12
Исследование солодов



v013842

I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы подтверждается решениями XXVI съезда КПСС и последующими пленумами ЦК КПСС. В свете этих решений требуется повысить производительность действующих солодовенных и пивоваренных заводов, уменьшить потери и полнее использовать природные качества перерабатываемого сырья, снизить себестоимость и улучшить качество солода и пива. Решение проблемы может быть получено путем разработки и внедрения автоматизированных систем управления технологическими процессами. Актуальность проблемы подтверждается также решениями секции проектирования и автоматизации пиво-безалкогольной промышленности научно-технического совета Минпищепрома СССР от 13.07.1978 г.

Цель работы заключается в исследовании и разработке современной методологии построения АСУ ТП соложения и пивоварения и в создании на ее основе подсистемы управления ТП варочного цеха.

Для достижения цели следовало:

- выполнить системный анализ объекта управления;
- сформулировать, обосновать и формализовать в общем виде основную задачу, а также выбрать метод ее решения, позволяющий обеспечить поэтапное внедрение АСУ ТП;
- разработать методологические основы построения математических моделей; технологических процессов; материальных потоков; качества сырья, полупродуктов и готовой продукции;
- формализовать процесс затирания солода и выполнить синтез подсистемы АСУ ТП, реализующей автоматическое и оптимальное управление ТП варочного цеха по локальному критерию оптимальности.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- постановке и обобщенной формализации основной и локальных задач управления технологическими процессами (ТП);

Одесский технологический
институт пищевой промышленности

2013842

- выборе рационального метода решения основной задачи АСУ ТП и разработке методологических основ построения математических моделей: технологических процессов; материальных потоков; качества ячменя, солода, сусла и пива;

- разработке математической модели качества солода и создании на ее основе алгоритма формирования однородных по качеству масс солода;

- разработке математической модели и решении задачи оптимизации процесса затирания солода;

- алгоритмическом описании ТП затирания солода, кипячения и осветления сусла;

- построении рациональной структуры АСУ ТП и формулировании ее функций укрупненно - по системе в целом и детально - по варочному цеху.

Практическая ценность работы состоит:

- в решении задачи формирования однородных масс солода и создании необходимых предпосылок для разработки подсистемы управления элеватором;

- в усовершенствовании существующих локальных систем автоматического управления процессами соложения и затирания солода;

- в разработке подсистемы АСУ ТП варочного цеха, реализующей оптимальное и автоматическое программное управление процессами затирания солода, кипячения и осветления сусла;

- в разработке рекомендаций для построения АСУ ТП соложения и пивоварения.

В исследованиях использовались: системный анализ, теория планирования эксперимента; множественный корреляционный и регрессионный анализ; теория квалиметрии; теория графов и потоков в сетях; динамическое и нелинейное программирование, теория автоматического управления.

Реализация в промышленности. Разработка подсистемы и ее внедрение осуществляются НПО "Пищепромавтоматика" по плану научно-исследовательской работы: "Разработать головные образцы автоматизированной системы управления варочным цехом и системы централизованного учета в цехе розлива пивзаводов мощностью 10 млн. дал пива в год на комплектном оборудовании поставки ЧССР и внедрить их на предприятии Роспивопроба". Первая очередь подсистемы АСУ ТП варочного цеха (оптимальное и программное управление ТП) внедряется в 1982 г. силами НПО "Пищепромавтоматика" на Воронежском пивзаводе.

Апробация работы. Основные положения и отдельные результаты работы доложены и одобрены: секцией научно-технического Совета института "Пищепромавтоматика"; на совещании "О состоянии и внедрении в пиво-безалкогольной промышленности научных разработок и перспективах научно-технического прогресса отрасли в XI пятилетке" (Рустави, 1980 г.).

Публикация результатов. По теме диссертации опубликовано 7 работ, в том числе 3 авторских свидетельства.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав с выводами по первой главе, общих выводов и рекомендаций, приложений. Основное содержание изложено на 155 страницах машинописного текста; рисунков 21, таблиц 23; библиография содержит 93 наименования.

2. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

2.1. В первой главе выполнен системный анализ каждого технологического участка и объекта управления в целом, что позволило (рис.1): определить управляющие и возмущающие воздействия; выделить параметры, подлежащие контролю, регулированию и оптимальному управлению; оценить современный уровень развития технологии солода и пива; выявить недостатки в существующих системах автоматизации ТП; установить современный уровень контроля качества

ячменя, солода, сусла и пива. При этом особое внимание уделено параметрам качества и технико-экономическим показателям (ТЭП) производства (потери, производительность). Установлено, что наибольшее возмущение оказывают параметры качества перерабатываемого продукта. При улучшении качества солода улучшаются ТЭП пивоварения. Однако достижение лучшего качества солода сопряжено с увеличением потерь экстракта ячменя и уменьшением производительности солодовенного производства. Следовательно, производство солода и пива целесообразно рассматривать совместно с единых экономических позиций.

По матрицам парных коэффициентов корреляции, полученным зарубежными учеными *L. Reinez, Z. Nazziss, A. Plendl*, проанализированы взаимосвязи параметров качества. Анализ корреляционных матриц указал на возможность построения рациональных систем контроля качества солода, сусла и пива.

2.1. Во второй главе на основании результатов анализа объекта управления выявлено следующее:

2.2.1. Сформулирован критерий и цель управления сложением и пивоварением. Поставлена и формализована в общем виде основная задача АСУ ТП. Разработана методология решения основной задачи.

В связи с невозможностью реализации контроля качества в ритме производства и непрерывно-дискретным характером ТП предложен статический детерминированный подход к оптимальному управлению ТП по возмущению параметров качества входного перерабатываемого продукта (ячменя, солода, сусла). Для оптимизации управления поставлена локальная задача приема зерна в элеватор по минимальной сумме квадратов разности между комплексными значениями качества зерна в j -ых силосах и средневзвешанными комплексными значениями качества образующихся смесей. Например,

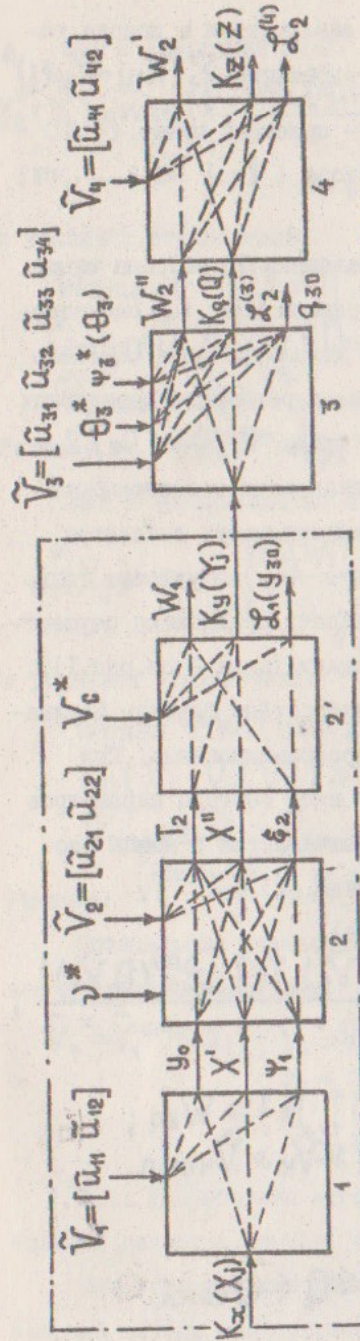


Рис.1.. Укрупненная параметрическая схема основных технологических процессов солодовенного и пивоваренного производств

1 - замачивание ячменя; 2 - солодоращение; 2' - сушка солода; 3 - затирание солода; 4 - главное брожение сусла и дображивание молодого пива;
 X_j, Y_j, Q, Z - векторы параметров качества ячменя, солода, сусла и пива; K_x, K_y, K_q, K_z, W_2 - комплексные показатели качества; $\tilde{V}_1, \dots, \tilde{V}_4, V_c^*$ - векторы управляющих воздействий; W_1, W_2 - W_2^1 - производительности процессов; Y_0, Ψ_1 - продолжительность замачивания и влажность ячменя; T_2 - период солодоращения; v^* - количество CO_2 в межзерновом пространстве слоя зеленого солода, стабилизируемое локальной АСУ; Y_{30}, Q_{30} - потери экстракта ячменя и солода, соответственно; $L_1, L_2, L_2^{(3)}, L_2^{(4)}$ - основные материальные затраты; θ_3^*, ψ_3^* - режимные параметры (температура и pH затора), стабилизируемые локальными АСУ.

для солода цель управления элеватором заключается в поиске таких маршрутов (l^*, j^*) , для которых выражение $\sum_j (K_{y_j} - \bar{K}_{y_j})^2$ имеет минимальное значение. Здесь l - приемный пункт ($l=0$) или силос элеватора, j - силос элеватора ($l, j = 1, 2, \dots, m$; $l \neq j$).

В качестве основного критерия управления ТП выбрана сумма отношений к соответствующим плановым уровням C_{10} , C_{20} себестоимости тонны солода C_1 и себестоимости декалитра пива C_2 . Цель управления заключается в определении таких режимных управляющих воздействий $\tilde{V}_1, \dots, \tilde{V}_4$, при которых сумма $C_1/C_{10} + C_2/C_{20}$ минимальна. Исходя из возможности представления себестоимости пива суммой $C_2 = \bar{C}_2 + \Delta C_3$, где \bar{C}_2 - себестоимость декалитра сусла, а ΔC_3 - приращение себестоимости C_2 на участке главного брожения и дображивания, решение задачи предложено осуществить путем ее декомпозиции на три подзадачи (шага - см. рис.1). Для согласования шагов используются рекуррентные формулы Беллмана, известные из теории динамического программирования. При этом, ввиду того что задается вход - в виде вектора параметров качества ячменя X_j , - решение задачи начинается с конца системы, т.е. с бродильно-лагерного отделения.

Шаг 3 (бродильно-лагерное отделение).

$$\delta_3^*(Q) = \min_{\tilde{V}_4} \frac{\Delta C_3 \{W_2' [T_4(\bar{z}_2(Q, \tilde{V}_4), T_5), \mathcal{L}_2^{(4)}(Q, \tilde{V}_4)]\}}{C_{20}},$$

в условиях ограничений:

$$W_2' \max \geq W_2' \{T_4[\bar{z}_2(Q, \tilde{V}_4), T_5]\} \geq W_2' \min;$$

$$K_z(Q, \tilde{V}_4) \geq K_z \min; \tilde{V}_4 \max \geq \tilde{V}_4 \geq \tilde{V}_4 \min.$$

Решение:

$$\tilde{V}_4^{opt} = \tilde{V}_4(Q) \text{ при } Q \min \leq Q \leq Q \max.$$

Шаг 2 (варочный пех).

$$\delta_2^*(Y_j) = \min_{\tilde{V}_3} \left\{ \frac{\bar{C}_2 \{W_2'' [q_0(Y_j, \tilde{V}_3), q_{30}(Y_j, \tilde{V}_3)]; \mathcal{L}_2^{(3)} [q_{30}(Y_j, \tilde{V}_3), \bar{u}_{34}]\}}{C_{20}} + \delta_3^*(Q) \right\}, \quad (I)$$

в условиях ограничений:

$$W_2'' \max \geq W_2'' [q_0(Y_j, \tilde{V}_3), q_{30}(Y_j, \tilde{V}_3)] \geq W_2'' \min;$$

$$Q \min \leq Q(Y_j, \tilde{V}_3) \leq Q \max; q_{30}(Y_j, \tilde{V}_3) \leq q_{30n};$$

$$\tilde{V}_3 \max \geq \tilde{V}_3 \geq \tilde{V}_3 \min.$$

Решение: $\tilde{V}_3^{opt} = \tilde{V}_3(Y_j)$ при $Y \min \leq Y_j \leq Y \max$.

Шаг 1 (производство солода).

$$\delta_1^*(X_j) = \min_{\tilde{V}_1, \tilde{V}_2} \left\{ \frac{C_1 \{W_1 [T_2, y_{30}(X_j, \tilde{V}_1, \tilde{V}_2)]; \mathcal{L}_1 [y_{30}(X_j, \tilde{V}_1, \tilde{V}_2)]\}}{C_{10}} + \delta_2^*(Y_j) \right\},$$

в условиях ограничений:

$$W_1 \max \geq W_1 [y_{30}(X_j, \tilde{V}_1, \tilde{V}_2), T_2] \geq W_1 \min;$$

$$K_y(X_j, \tilde{V}_1, \tilde{V}_2) \geq K_y \min; y_{30}(X_j, \tilde{V}_1, \tilde{V}_2) \leq y_{30n};$$

$$\tilde{V}_1 \max \geq \tilde{V}_1 \geq \tilde{V}_1 \min; \tilde{V}_2 \max \geq \tilde{V}_2 \geq \tilde{V}_2 \min.$$

Решение: $\tilde{V}_1^{opt} = \tilde{V}_1(X_j); \tilde{V}_2^{opt} = \tilde{V}_2(X_j);$ при $X \min \leq X_j \leq X \max$.

Оптимальные управляющие воздействия вычисляются в обратном порядке по формулам:

$$\tilde{V}_1^* = \tilde{V}_1^{opt}(X_j); \tilde{V}_2^* = \tilde{V}_2^{opt}(X_j); Y_j^* = F_1(\tilde{V}_1^*, \tilde{V}_2^*, X_j);$$

$$\tilde{V}_3^* = \tilde{V}_3^{opt}(Y_j); Q^* = F_2(\tilde{V}_3^*, Y_j);$$

$$\tilde{V}_4^* = \tilde{V}_4^{opt}(Q); Z^* = F_4(\tilde{V}_4^*, Q).$$

2.2.2. Разработана методология построения математических моделей качества ячменя, солода, сусла и пива.

Для установления размерностей систем контроля качества выбраны методы множественного корреляционного и регрессионного анализа данных. Для отбрасывания зависимых параметров качества

применяются выражения:

$$R_i = \sqrt{1 - \frac{\det A_i}{\bar{M}_{ii}}}; \quad F_i = \frac{R_i^2}{1 - R_i^2} \cdot \frac{N - k}{k - 1}, \quad (2)$$

где R_i - множественный коэффициент корреляции;

A_i - матрица парных коэффициентов корреляции в изучаемой совокупности K - параметров; \bar{M}_{ii} - дополнительный минор K -го порядка матрицы A_i ; N - объем выборки;

F_i - реализация выборочной функции, которая удовлетворяет F -распределению Фишера с $k-1/N-k$ степенями свободы.

Для комплексной оценки качества солода используется выражение (для ячменя, сусле и пива аналогично):

$$K_y = \sum_{i=1}^{N_y} S_i \cdot \hat{y}_i, \quad (3)$$

где N_y - размерность системы контроля качества солода; S_i - коэффициент весомости i -го параметра качества;

\hat{y}_i - оценка i -го параметра качества солода y_i .

Для перехода от параметра y_i к его оценке \hat{y}_i используются функции Харрингтона:

$$\hat{y}_i = \exp[-\exp(-\chi_i)]; \quad \hat{y}_i = \exp\left(-\left|\frac{2y_i - (y_{i\max} + y_{i\min})}{y_{i\max} - y_{i\min}}\right|^{\psi_i}\right), \quad (4)$$

где χ_i - число в пределах от -4 до +6; $\chi_i = d_i |y_i - y_{i\min}|$; ψ_i - число от 1 до 4; $y_{i\min}$, $y_{i\max}$ - минимальное и максимальное значение параметра качества солода.

Коэффициент весомости $S_i = S_i' + S_i''$, где составляющие S_i' , S_i'' вычисляются по формулам:

$$S_i' = 10^2 \cdot \frac{\frac{1}{\bar{y}_i - \hat{y}_{i\min}}}{\sum_{i=1}^{N_y} \frac{1}{\bar{y}_i - \hat{y}_{i\min}}}; \quad S_i'' = 10^{-2} \cdot \sum_{k=1}^{12} \alpha_k \cdot |f_{ik}|, \quad (5)$$

где \bar{y}_i , $\hat{y}_{i\min}$ - оценка номинального (среднего), удовлетворяющего технологическим требованиям, и оценка предельно-допустимого значения i -го параметра качества

солода; α_k - коэффициент участия фактора "К" в факторной матрице Φ , полученной зарубежными учеными *L. Nazziss, L. Reinez*; f_{ik} - нагрузка параметра i в факторе "К".

2.2.3. Разработаны методологические основы построения математических моделей материальных потоков. При этом использована теория графов и потоков в сетях. Модели материальных потоков представлены в виде нормальных дифференциальных и алгебраических уравнений, необходимых для построения подсистем продольной стабилизации ТП. Построение моделей основывается на проектных данных Киевского пивоваренного завода № 3.

2.3. В третьей главе на основе теории, данной во второй главе, и необходимости поэтапного внедрения АСУ ТП выполнено:

2.3.1. Построение математической модели качества солода.

Для оценки качества солода получено математическое выражение

$$K_y = 27.35 \hat{y}_1 + 30.45 \hat{y}_2 + 25.51 \hat{y}_5 + 27.35 \hat{y}_6 + 25.86 \hat{y}_7 + 16.97 \hat{y}_8 + 18.62 \hat{y}_{20} + 22.60 \hat{y}_{22} + 7.23 \hat{y}_{27} + 7.23 \hat{y}_{29}, \quad (6)$$

где \hat{y}_1, \hat{y}_2 - оценки экстрактивности и разности экстрактивностей солода; $\hat{y}_5, \hat{y}_7, \hat{y}_{22}$ - оценки количества аминного, растворимого и общего белка в солоде; \hat{y}_6, \hat{y}_{29} - оценки продолжительности осахаривания и влажности солода; \hat{y}_8, \hat{y}_{20} - оценки конечной видимой степени ображивания и цвета конгрессного сусла; $\hat{y}_{27}, \hat{y}_{29}$ - оценки прохода через сито 2,2 и влажность солода.

2.3.2. Синтез подсистемы управления элеватором.

В основу построения подсистемы положен двухуровневый принцип управления. Согласно цели, данной во второй главе, на верхнем уровне подсистемы, в порядке разработанного алгоритма, решаются следующие задачи оптимизации:

2.3.2а. Внешняя задача, направленная на прямой прием солода в силосы элеватора.

$$\min_{g_{oj} \in E_o} F_{y_o} = \min_{g_{oj}} \sum_{j \in J_1} Y_{oj}^T S Y_{oj}, \quad (7)$$

где g_{oj} - масса солода, перемещаемая из передающего пункта (0) в силос j ;

$S = [S_{ik}]$ - симметрическая матрица коэффициентов весомости параметров качества солода, в которой $S_{ik} = S_{ki}$, $S_{ii} = S_i^2$, $i = 1, 2, \dots, N_y$;

Y_{oj} - вектор-столбец оценок параметров качества солода с координатами $(\hat{y}_{ij} - \bar{y}_{ioj})$;

\hat{y}_{ij} - оценка i -го параметра качества солода в j -ом силосе до смешивания;

\bar{y}_{ioj} - средневзвешенная оценка i -го параметра качества солода после смешивания массы солода g_j j -силоса с массой солода g_{oj} , поданной в j -ый силос из приемного пункта $l = 0$;

$$\bar{y}_{ilej} = \frac{\hat{y}_{ile} g_{ej} + \hat{y}_{ij} g_j}{g_{ej} + g_j};$$

E_o - область допустимых решений, заданная ограничениями:

$$\sum_{j \in J_1} g_{oj} \leq \Delta g_o; \quad g_{\min} < g_{oj} \leq (g_{j\max} - g_j);$$

Δg_o - остаток после приема солода в пустые силосы;

$g_{\min} = \text{const}$; $g_{j\max}$ - максимальная нагрузка j -го силоса;

J_1 - множество силосов $[j: g_{\min} < g_j < g_{j\max}]$.

2.3.2б. Внутренние l -задачи, направленные на перераспределение хранимых масс солода.

$$\min_{\substack{l \in J_{il} \\ g_{lj} \in E_l}} F_{y_l} = \min_{g_{lj}} \sum_{\substack{j \in J_1 \\ j \neq l}} Y_{lj}^T S Y_{lj}, \quad (8)$$

где l, j - силосы элеватора; J_{il} - множество силосов $[l: g_{il} \leq \Delta g_o; l = 1, 2, \dots, m]$; E_l - область допустимых решений, заданная ограничениями:

$$g_l - \sum_{j \in J_1} g_{lj} = 0; \quad g_{\min} < g_{lj} \leq (g_{j\max} - g_j);$$

Y_{lj} - вектор-столбец с координатами $(\hat{y}_{ij} - \hat{y}_{ilej})$.

Из множества решений внешней и внутренних задач принимает-ся то, для которого значение целевой функции $F_{y_o}^*$, $F_{y_l}^*$ меньше. Это решение в виде заданий маршрутов $(l^*, j^*), (0, j^*)$ движения масс солода g_{oj}^* , g_{lj}^* передается на нижний уровень подсистемы для автоматического управления поточно-транспортными механизмами элеватора.

2.3.3. Синтез двухуровневой подсистемы управления варочным цехом, включающий:

2.3.3а. Разработку математических моделей затирания солода с ферментами Цитороземин-Пх и МЭК.

Создание моделей осуществлено экспериментальным путем на пилотной установке в НИО ПБП. На первом шаге проводились пассивные эксперименты при случайном изменении возмущения Y_j в центральном сечении управляющих воздействий \hat{V}_z^o . На втором шаге выполнялись активные опыты по полному факторному плану Бокса-Уилсона в центральном сечении возмущающих воздействий Y^o . Расчет моделей осуществлялся на ЭВМ ЕС 1020 по стандартной программе многошагового регрессионного анализа, реализующего метод Дулитла. Модели строились из предположения возможности идентификации процесса системами вида:

$$Q^T - D \Delta Y_j^T = B_o + B_z \hat{V}_z;$$

$$Q_{z0}^T - D_{z0} \Delta Y_j^T = B_{o,z0} + B_{z,z0} \hat{V}_{z,z0}, \quad (9)$$

где $\hat{V}_z, \hat{V}_{z,z0}$ - преобразованные векторы-столбцы управляющих воздействий, содержащие координаты

$$u_{zр} = \frac{\hat{u}_{zр} - \hat{u}_{zр}^o}{J_{zр}} \quad \text{и их взаимодействия до}$$

второго порядка ($p = 1, 2, 3, 4$; U_{3p} - шаги варьирования факторов по плану Бокса - Уилсона; $\hat{u}_{31}, \hat{u}_{32}$ - продолжительность белковых и мальтозных пауз; $\hat{u}_{33}, \hat{u}_{34}$ - дозы в затор фермента и экстракта несоложенного сырья);
 $Q = [q_3, q_4, q_6, q_{13}]$ - вектор качества сусла (q_3 - максимальная видимая степень сбраживания сусла; q_4, q_6, q_{13} - количество растворенного азота, азота, осаждаемого $MgSO_4$, и количество аминного азота, соответственно);

B_0 - вектор-столбец свободных членов; $B_3, B_{3.30}$ - матрицы коэффициентов активной модели; D, D_{30} - матрица коэффициентов полного дифференциала пассивной модели;

$$\Delta Y_j^T = \begin{bmatrix} y_{1j} - y_1^0 \\ y_{2j} - y_2^0 \\ y_{6j} - y_6^0 \\ y_{7j} - y_7^0 \\ y_{8j} - y_8^0 \end{bmatrix}; \quad \begin{matrix} B_{0.30} & - & \text{свободный член;} \\ q_{30} & - & \text{потери экстракта} \\ & & \text{солода в дробине.} \end{matrix}$$

Адекватность модели проверялась по критерию Фишера $\hat{F}_i > F_\alpha$, где \hat{F}_i рассчитывались по выражениям (2). Уравнения модели (9) адекватны при уровне значимости $\alpha = 0,05$.

2.3.3б. Синтез подсистемы, реализующей на верхнем уровне АСУ ТП оптимальное управление затиранием солода. На основе математических моделей затирания солода с ферментами МЭК и Циторовемин-Пх решена подзадача оптимизации (I) основной задачи АСУ ТП. В предположении $W_2'' = W_{2n}''$ подзадача (I) свелась к минимизации основных материальных затрат варочного цеха

$\mathcal{L}_2^{(3)}$ при $q_{30}^* = q_{30}(\hat{V}_3^{opt}, Y_j)$. Решение велось на ЭВМ ЕС-1020 методом случайного поиска с выбором направления движения к оптимальным координатам вектора \hat{V}_3^{opt} по наилучшей пробе. Результаты решений по модели "МЭК" представлены в табл. I.

Таблица I

№ варианта качества солода, j	Качество солода, Y					Оптимальные управляющие воздействия				
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
I										
I	79,80	4,70	20	4,44	70,5	0,888	0,750	0,008	16,2	
2	79,20	2,80	25	4,09	73,0	0,333	0,750	0,006	32,2	
3	78,90	4,50	15	4,96	78,1	0,333	0,750	0,008	21,2	
4	79,50	5,10	20	4,80	76,8	0,370	0,750	0,008	12,3	
5	79,70	3,70	15	5,08	75,5	0,333	0,750	0,008	26,9	
6	79,60	1,40	15	3,85	72,1	0,333	0,750	0,005	40,0	
7	78,90	2,40	15	3,76	77,0	0,617	0,730	0,004	17,8	
8	79,80	2,70	15	3,67	76,0	0,352	0,750	0,003	11,0	
9	77,80 ³	4,40	25	3,47	74,2	0,667	0,750	0,003	10,0	
10	80,50	4,10	25	3,67	76,0	0,667	0,700	0,003	10,3	
11	80,04	5,51	15	4,38	69,0	0,350	0,750	0,005	11,8	
12	77,87	2,02	20	5,37	67,6	0,333	0,750	0,008	35,0	

Качество сусла, Q _i				Технико-экономические показатели			Примечание
Максимальная степень сбраживания, Q ₃ , %	Количество растворенного азота, Q ₄ , мг/100 мл	Количество азота, осаждаемого MgSO ₄ ·9H ₂ O, мг/100 мл	Количество аминокислот азота, Q ₁₃ , мг/100 мл	Общие потери экстрактивных веществ в дробине, Q ₃₀ , %	Основные затраты, Q _{2j} , руб/дал	I7	
I1	I2	I3	I4	I5	I6		I7
77,2	78,0	14,0	25,8	2,77	0,526		
78,0	77,5	14,0	25,0	2,12	0,496		
77,0	84,8	13,9	25,6	2,71	0,520		
77,0	81,6	14,0	25,0	3,00	0,536		
77,5	87,8	14,0	25,9	2,41	0,505		
78,7	77,0	13,3	26,0	1,45	0,477		
78,0	75,8	15,2	26,9	1,49	0,520		
76,5	74,4	12,8	28,4	1,70	0,531		
76,0	70,0	19,0	27,5	2,49	0,545		
76,6	72,8	18,2	26,9	3,09	0,535		
75,5	77,0	15,5	29,0	3,45	0,537		
77,7	94,4	14,0	25,9	0,67	0,488		

Ограничения по качеству сусла нарушаются

Пользуясь этой таблицей, можно для конкретного солода Y_j установить наилучшие технологические параметры процесса затирания. Разработка программных модулей решения задач (1), (7), (8) на ЭВМ ряда ЕС позволит в ближайшее время широко распространить полученные результаты в пивоваренной отрасли пищевой промышленности страны.

2.3.3в. Разработка подсистемы, реализующей на нижнем уровне АСУ ТП автоматическое программное управление ТП затирания солода, кипячения и осветления сусла.

В основу разработки положено использование централизованного комплекса КМ24II-I4 КТС ЛИУС. Подсистема обеспечивает следующее:

- гибкое автоматическое программное управление затиранием солода. Вид программы записывается в память, а ее параметры (температура, выдержки времени) задаются с пульта. Управление варочными порядками независимое. В зависимости от вида программы перекачивание части затора в смежный котел реализуется автоматически до заданной температуры смеси либо до заданного с пульта объема. Возврат прокипяченной массы затора в главный котел и перекачивание всего затора в фильтрационный чан реализуется автоматически;

- отсчет выдержки времени на расслаивание затора в фильтрчане;

- технологическую сигнализацию;

- автоматическое управление кипячением сусла с отсчетом выдержки кипячения;

- автоматическое облокированное управление процессом передачи сусла на осветление и программное управление осветлением в вихревых или отстойных чанах.

№ 0 13842

Одесский технологический институт пищевой промышленности им. М. В. Ломоносова
БИБЛИОТЕКА

Объем подсистемы: 250 информационных входов и 190 выходов на управление и сигнализацию.

2.3.4. Построение рациональной структуры АСУ ТП и формулирование ее функций укрупненно – по системе в целом и детально – по варочному цеху.

Предложена трехуровневая АСУ ТП. На верхнем уровне – главный пивовар, главный инженер, плановый отдел; на среднем – центральный диспетчерский пункт и центральная УВМ; на нижнем – распределенные, связанные со средним уровнем микропроцессорные подсистемы автоматического управления элеватором зерна, замачиванием ячменя, солодоращением, сушкой солода, технологическими процессами варочного цеха (подработкой, затирианием, фильтрацией, кипячением, осветлением), главным брожением сусла и дображиванием молодого пива, розливом. На среднем уровне с помощью УВМ реализуется следующее: сбор и обработка информации о нарушениях технологических режимов, о качестве ячменя, солода, полупродуктов и готовой продукции; интегральный учет материальных потоков за сутки, декаду и месяц; составление оперативной и отчетной документации по каждому цеху; решение задач оперативного управления материальными потоками; решение задач оптимального распределения по силосам элеватора поступающих масс ячменя и солода; решение задач оптимального управления процессами соложения, затириания солода и главного брожения сусла; передача заданий на нижний уровень управления ТП; построение оптимальных технологических графиков производства солода и пива; адаптация математических моделей процессов затириания солода и главного брожения сусла; расчет технико-экономических показателей по каждому участку за сутки, декаду и месяц; управление производством по технико-экономическому критерию оптимальности.

Нижний уровень АСУ ТП выполняет: автоматическое управление маршрутами перемещения масс ячменя, солода, сусла и пива; мгновенный и интегральный за смену контроль материальных потоков; автоматический многоканальный контроль и регулирование технологических режимных параметров на уровне заданий; программное логическое управление технологическими процессами; технологическую сигнализацию.

Для построения нижнего уровня АСУ ТП рекомендуется использовать микропроцессорный комплекс технических средств ЛИУС-2.

В четвертой главе решен контрольный пример задачи (7), (8) и проверена работоспособность подсистемы оптимизации процесса затириания солода. Подсистема включает "Советчик пивовара" – таблицу оптимальных решений подзадачи (1) с 295 систематизированными вариантами качества солода – и программный модуль "Оптимизация процесса затириания солода в пивоварении". Проверка проводилась на Москворецком пивзаводе по программе производственных и приемосдаточных испытаний. Работоспособность подтверждается адекватностью математической модели (9) и экономической эффективностью подсистемы.

РЕЗУЛЬТАТЫ ВНЕДРЕНИЯ

Разработка первой очереди АСУ ТП варочного цеха осуществлена институтом "Пищепромавтоматика" в объемах научно-исследовательской работы по теме 9.77(0032) и рабочего проекта № 13977.3. Внедрение первой очереди АСУ ТП варочного цеха завершится по плану НИОКР0032 в IV кв. 1982 года на Воронежском пивзаводе. В настоящее время внедрена подсистема оптимизации процесса затириания солода с годовым экономическим эффектом 63,5 тыс. рублей. Госпищепромом Минпищепрома РСФСР принято решение о внедрении в 1982 году аналогичной подсистемы на 12 заводах. Для этого издана отраслевая инструкция по эксплуатации подсистемы оптимизации. Экономический эффект от распространения подсистемы составит более 800 тыс. рублей в год.

Экономический эффект от полного внедрения АСУ ТП варочного цеха на Воронежском пивзаводе составит 242 тыс.рублей. Срок окупаемости капитальных затрат равен 0,7 года.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Выявлена необходимость управления технологическими процессами по интегральному технико-экономическому критерию. Цель управления заключается в минимизации суммы отношений к соответствующим плановым уровням себестоимости солода и себестоимости пива.

2. Разработаны методические основы построения АСУ ТП, включающие: постановку и формализацию в общем виде основной задачи управления; методологию описаний технологических процессов и материальных потоков, а также качества сырья, полупродуктов и готовой продукции; построение структурной функциональной схемы АСУ ТП.

3. Постановка основной задачи АСУ ТП выполнена с учетом производственных плановых показателей, а также с учетом ограничений на качество сырья, полупродуктов и готовой продукции.

4. Путем декомпозиции целой системы управления на ряд подсистем поставлены задачи управления каждым участком и выявлены математические модели, подлежащие разработке. При этом также доказана возможность поэтапного внедрения АСУ ТП.

5. Показано, что наибольшее влияние на выгодные переменные оказывают внешние возмущения, связанные с изменением параметров качества входного перерабатываемого продукта: в солодовенном-ячменя; в пивоваренном - солода.

6. Доказана необходимость в оптимальном управлении процессами соложения и пивоварения в статике, по возмущению параметров качества перерабатываемого продукта. Для эффективности функционирования статических систем оптимизации разработана подсистема АСУ ТП, формирующая в силосах элеватора однородные

по качеству партии ячменя и солода. В качестве критерия однородности смешиваемых масс зерна выбрана сумма квадратов разности комплексных показателей качества.

7. Синтез подсистемы формирования однородных партий солода включает разработку формализованного алгоритма поиска оптимальных маршрутов элеватора и описание качества солода. Проверка работоспособности подсистемы выполнена на контрольном примере.

8. Разработана адекватная математическая модель процесса затиранья солода, показывающая влияние качества солода, а также режимных и технологических параметров процесса затиранья на качество суслу и технико-экономические показатели варочного цеха. Проверка модели выполнена в производственных условиях.

9. Решена параметрическая задача минимизации основных материальных затрат варочного цеха. Результаты, в виде оптимальных значений белковых и мальтозных пауз, а также доз фермента и ячменя, служат оптимизации процесса затиранья солода. Решения связаны с параметрами качества солода и суслу.

10. Усовершенствование локальных автоматических систем управления процессами соложения выполнено на уровне изобретений и с учетом современных технологических требований.

11. Выявлена рациональная структура АСУ ТП, позволяющая развить систему в интегрированную АСУ, включающую управление производством.

12. Разработана подсистема АСУ ТП варочного цеха. Ее внедрение завершится в 1982 году на Воронежском пивзаводе с годовым экономическим эффектом 242 тыс.рублей. В настоящее время внедрена подсистема оптимизации процесса затиранья солода с экономическим эффектом 63,5 тыс.рублей в год. Подсистема принята к широкому распространению в отрасли; экономический эффект составит более 800 тыс.рублей в год.

Результаты исследований могут быть рекомендованы для разработки типовой АСУ ТП.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. Исследование взаимосвязи параметров ячменя и солода /Г.Ф.Ипатова, В.Е.Самойлова, В.И.Сливко, П.И.Телис. - Ферментная и спиртовая промышленность, 1973, № 7, с.43-46.

2. А.с. 490815 (СССР): Способ автоматического управления процессом сушки в зональных шахтных солодосушилках непрерывного действия /В.И.Сливко. - Оpubл. в Б.И., 1975, № 41.

3. Ипатова Г.Ф., Сливко В.И. О математической модели и статической оптимизации солодовенного производства. - Ферментная и спиртовая промышленность, 1978, № 1, с.24-28.

4. А.с. 610860 (СССР): Способ автоматического управления процессом солодоращения в солодорастильных установках периодического действия /В.И.Сливко, В.А.Володин. - Оpubл. в Б.И., 1978, № 22.

5. А.с. 759587 (СССР): Способ автоматического управления процессом сушки в зональных шахтных солодосушилках непрерывного действия /В.И.Петруня, В.И.Сливко, Р.А.Шулскис. - Оpubл. в Б.И., 1980, № 32.

6. Сливко В.И. Модуль программного логического управления процессами затирания солода, кипячения и осветления сусла. - Специализированный отраслевой фонд алгоритмов и программ: - Киев, 1979, 74 с., рег. номер 14027.

7. Оптимизация процесса затирания /В.И.Сливко, Я.С.Суходольский, П.И.Телис, В.С.Макагон. - Сб. научн. трудов НИО "Пищепромавтоматика": - Одесса, 1979, вып.18, с.75-82, ISSN № 0136-6238.

В. Сливко